

**Regelstrategie für elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantriebe**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantriebs eines Kraftfahrzeugs mit einem Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein nachgeschaltetes Getriebe gekoppelt sind, sowie einen elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantrieb für ein Kraftfahrzeug.

**Stand der Technik**

Während bekannte Handschalt- und Automatikgetriebe für Kraftfahrzeuge gestufte Übersetzungen aufweisen und es daher nicht erlauben, den Verbrennungsmotor in allen Fahrzuständen im Bereich hoher Wirkungsgrade zu betreiben, kann dieses Problem durch einen elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantrieb beseitigt werden. Derartige Hybridantriebe sind zum Beispiel in der DE 198 42 452 A1 (TOYOTA-Hybridsystem), der DE 199 03 936 A1 (Dual-E-Getriebe) oder der DE 199 09 424 A1 (SEL 120/3-Getriebe) offenbart. Alle diese Antriebe besitzen neben dem Verbrennungsmotor zwei Elektromaschinen, die ein elektrisches Stellgetriebe bilden. Der

Verbrennungsmotor und die Elektromaschinen sind durch ein nachgeschaltetes mechanisches Getriebe mit Planetenstufen gekoppelt, in dem die Antriebsleistung des Verbrennungsmotors in zwei Teilleistungen aufgeteilt wird. Während die eine Teilleistung mechanisch

5 und damit mit hohem Wirkungsgrad zur Getriebeabtriebswelle und damit zu den Rädern des Kraftfahrzeugs übertragen wird, wird die andere Teilleistung von der einen Elektromaschine im Generatorbetrieb in elektrische Leistung umgewandelt und von der anderen Elektromaschine im Motorbetrieb wieder in das Getriebe eingespeist.

10

Bei derartigen Antrieben kann auf einen zusätzlichen Starter bzw. Generator verzichtet werden. Die Elektromaschinen starten den Verbrennungsmotor und erzeugen die erforderliche elektrische Leistung für ein Bordnetz des Kraftfahrzeugs, das einen Energiespeicher

15

für die erzeugte elektrische Leistung umfasst. Neben einem hybriden Betrieb, in dem sowohl der Verbrennungsmotor und die Elektromaschinen arbeiten, ist auch ein Boostbetrieb und ein rein elektrischer Fahrbetrieb möglich, bei welchem letzteren elektrische Leistung aus dem Energiespeicher entnommen wird.

20

Im hybriden Betrieb entsteht durch die Entkopplung der Drehzahlen der beiden Elektromaschinen ein Drehzahl-Freiheitsgrad, was bedeutet, dass bei vorgegebener Fahrzeuggeschwindigkeit und damit vorgegebener Drehzahl an der Getriebeabtriebswelle (und bei

25

vorgegebener Fahrstufe beim SEL- bzw. Dual-E-Getriebe) die Drehzahl von einer der beiden Elektromaschinen innerhalb der physikalischen Grenzen frei gewählt werden kann. Die Drehzahl der zweiten Elektromaschine und die Drehzahl des Verbrennungsmotors ergeben sich dann durch die Koppelbedingungen des nachgeschalteten Ge-

30

triebes. Dieser Drehzahl-Freiheitsgrad wird dazu benutzt, den An-

triebsstrang im Bereich hoher Gesamtwirkungsgrade zu betreiben. Eine Steuerung des Kraftfahrzeugs berücksichtigt im Wesentlichen dessen Geschwindigkeit bzw. die Ist-Drehzahl der Getriebeabtriebswelle sowie die vom Fahrer angeforderte mechanische Leistung

- 5 (Fahrpedalstellung) und die zur Versorgung des Bordnetzes erforderliche elektrische Leistung und legt auf der Grundlage dieser Parameter den vorhandenen Drehzahl-Freiheitsgrad sowie die Drehmomente der drei Antriebsaggregate fest.
- 10 Bei den bekannten Verfahren zur Regelung eines solchen Antriebs mit einem Drehzahl-Freiheitsgrad wird eine der Elektromaschinen drehzahlgeregelt betrieben, während der Verbrennungsmotor und die andere Elektromaschine drehmomentgesteuert bzw. die letztere im Falle einer Elektromaschine mit Stromregler oder feldorientierter Regelung drehmomentgeregelt wird. Das heißt, eine Steuerung des Kraftfahrzeugantriebs gibt die Soll-Drehzahl der drehzahlgeregelten Elektromaschine, das Soll-Drehmoment der drehmomentgesteuerten Elektromaschine und das Soll-Drehmoment des drehmomentgesteuerten Verbrennungsmotors vor. Die beiden drehmomentgesteuerten
- 15 Antriebsaggregate beeinflussen nicht nur das Drehmoment an der Getriebeabtriebswelle sondern auch das Drehmoment, das am drehzahlgeregelten Antriebsaggregat entsteht bzw. dort von einem Drehzahlregler dieses Aggregats eingestellt und als Sollwert für dessen unterlagerte Stromregelung vorgegeben wird. Im Idealfall entspricht
- 20 Antriebsaggregate beeinflussen nicht nur das Drehmoment an der Getriebeabtriebswelle sondern auch das Drehmoment, das am drehzahlgeregelten Antriebsaggregat entsteht bzw. dort von einem Drehzahlregler dieses Aggregats eingestellt und als Sollwert für dessen unterlagerte Stromregelung vorgegeben wird. Im Idealfall entspricht
- 25 dieses Drehmoment einem in der Steuerung vorausberechneten Soll-Drehmoment für die drehzahlgeregelte Elektromaschine.

Allerdings wirken sich bei dem bekannten Verfahren insbesondere beim Verbrennungsmotor vorhandene Ungenauigkeiten in den

- 30 Drehmomentsteuerungen sowie Ungenauigkeiten in den Reibver-

hältnissen des Getriebes auf die drehzahlgeregelte Elektromaschine aus, wodurch das vom Drehzahlregler an dieser Elektromaschine eingestellte Drehmoment erheblich von dem in der Steuerung vor- ausberechneten Soll-Drehmoment abweichen kann.

5

Daraus ergeben sich einige negative Auswirkungen. Zum einen weicht in diesem Fall auch die elektrische Leistung der drehzahlge- regelten Elektromaschine vom Sollwert ab. Die in das Bordnetz ein- gespeiste elektrische Leistung entspricht dann nicht der Vorgabe der

10 Steuerung, was sich negativ auf das elektrische Bordnetz auswirkt. Daneben können auch die Leistungsgrenzen des elektrischen Ener- giespeichers verletzt werden, z.B. bei der Energierückgewinnung während eines Bremsvorgangs oder beim Boostbetrieb. Zum ande- ren kann die drehzahlgeregelte Elektromaschine durch Ungenauig- 15keiten an ihre maximale Drehmomentgrenze gelangen, was gleich- bedeutend mit einer Stellgrößenbegrenzung für den Drehzahlregel- kreis ist. Die mit der Drehzahlregelung eingebrachte Bindung wird dabei unwirksam. Ohne weitere Eingriffe an der drehmomentgesteu- 20erten zweiten Elektromaschine bzw. an dem drehmomentgesteu- ten Verbrennungsmotor geht die Kontrolle über das System verloren.

25

Im dynamischen Betrieb können die drehmomentgesteuerten An- triebssaggregate basierend auf der Kenntnis der zu kompensierenden Trägheiten vorgesteuert werden. Allerdings ist dabei mit zusätzlichen Ungenauigkeiten zu rechnen, die sich wiederum auf das Drehmo- 25ment der drehzahlgeregelten Elektromaschine auswirken.

#### Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantrieb und das Verfahren zu seiner Regelung mit den Merkmalen der Ansprüche 1 bzw. 8 weist demgegenüber den Vorteil auf, dass die Aufgabe der Drehzahlregelung auf alle Aggregate, d.h. auf

- 5 den Verbrennungsmotor, die erste Elektromaschine und die zweite Elektromaschine verteilt wird, um die oben beschriebenen Nachteile zu vermeiden. Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen werden Ungenauigkeiten in den Reibverhältnissen des Getriebes und Ungenauigkeiten in der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors
- 10 berücksichtigt und deren Auswirkungen auf die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung minimiert.

Daneben besteht eine weitaus geringere Gefahr, infolge von Stellgrößenbegrenzungen die Kontrolle über das System zu verlieren.

- 15 Weitere Vorteile bestehen in einer aktiven Dämpfung von unerwünschten Drehschwingungen eines Antriebsstrangs des Antriebs. Zudem lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft mit einer üblichen Steuergerätestruktur ausführen, bei der jedem der drei Antriebsaggregate ein Steuergerät zugeordnet ist, z.B. ein Motorsteuergerät für den Verbrennungsmotor und jeweils ein Wechselrichter mit Controller für die beiden Elektromaschinen, und bei der die Steuergeräte über eine Busverbindung miteinander kommunizieren.
- 20
- 25 Da bei modernen Elektromaschinen das vorgegebene Soll-Drehmoment ausreichend genau umgesetzt wird, während beim Verbrennungsmotor zwischen dem Soll-Drehmoment und dem an der Kurbelwelle erzeugten Ist-Drehmoment zumeist größere Abweichungen auftreten, ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung
- 30 vorgesehen, dass als Drehzahlregler für den Verbrennungsmotor ein

I-, PI- oder PID-Regler verwendet wird, während als Drehzahlregler für die Elektromaschinen P- oder PD-Regler verwendet werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bilden die

5 Drehzahlregler jeweils einen Teil eines dezentralen Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors bzw. der Elektromaschinen, die in den Steuergeräten der einzelnen Aggregate realisiert sind und nicht über ein Bussystem geschlossen sind, so dass längere Signallaufzeiten vermieden und dadurch hohe Bandbreiten erzielt werden können.

10 Für die Vorgabe der Soll-Drehmomente und der Soll-Drehzahlen von der Steuerung an die Steuergeräte wird hingegen vorteilhaft ein Bussystem genutzt, das in modernen Kraftfahrzeugen üblicherweise vorhanden ist.

15 Die Reglerparameter der Drehzahlregelkreise bzw. die Initialisierung eines Integral-Anteils des Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors werden vorzugsweise ebenfalls von der Steuerung vorgegeben, wodurch sich das Regelverhalten und die aktive Drehschwingungsdämpfung an den jeweiligen Betriebszustand des Antriebsstrangs anpassen lassen. Damit lassen sich zum Beispiel Start- und Stop-Vorgänge des Verbrennungsmotors, bei denen eine von seinem Zweimassenschwunggrad geprägte Resonanzfrequenz durchlaufen wird, ohne die Notwendigkeit einer Veränderung der Reglerstruktur getrennt betrachten und optimieren.

20

25 In den meisten Betriebszuständen des Hybridantriebs arbeitet eine der beiden Elektromaschinen als Motor, während die andere als Generator arbeitet. Durch geeignete, an den Betriebszustand angepasste Vorgaben der Reglerparameter lassen sich die Auswirkungen

von Reglereingriffen auf die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung minimieren.

Bei vorgegebener Fahrzeuggeschwindigkeit und damit festliegender

5 Ist-Drehzahl an der Getriebeabtriebswelle ist ein Drehzahlfreiheitsgrad im Getriebe vorhanden. Wenn eine Gefahr besteht, das System mit drei Drehzahlregelkreisen z.B. infolge von Ungenauigkeiten oder Zeitverzögerungen in den Drehzahlerfassungen zu verspannen, können an einem bzw. an zwei Drehzahlregelkreisen Bandpassfilter

10 (nicht dargestellt) vor oder hinter dem Drehzahlregler vorgesehen werden, die den Reglereingriff auf den Frequenzbereich der unerwünschten Antriebsstrangdrehschwingungen begrenzen. Bei drohenden Stellgrößenbegrenzungen oder größeren Regelabweichungen sollte die Steuerung die Wirkung der Bandpassfilter zurücknehmen.

15 um alle Aggregate für die Erhaltung der Drehzahlbindung zu nutzen.

Zeichnung

20 Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnung näher erläutert. Die einzige Figur zeigt eine schematische Darstellung eines Hybridantriebs für ein Kraftfahrzeug mit zugehöriger Regelstrategie.

25 Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Der in der Zeichnung dargestellte, als sogenanntes Dual-E-Getriebe ausgebildete elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantrieb 2 eines Kraftfahrzeugs besteht im Wesentlichen aus drei An-

30 triebssaggregaten in Form eines Verbrennungsmotors VM und zweier

Elektromaschinen E1 und E2, zwei den Elektromaschinen E1 und E2 nachgeschalteten Planetenstufen P1 und P2, die über ein mehrstufiges mechanisches Dreiwellen-Schaltgetriebe 4 mit einer zu den Rädern des Kraftfahrzeugs führenden Getriebeabtriebswelle AW und

5 über zwei Zahnräder 6 und 8 mit einer Kurbelwelle KW des Verbrennungsmotors VM gekoppelt sind, einer gemeinsamen Steuerung 10 für alle drei Antriebsaggregate VM, E1, E2, sowie getrennten Steuergeräten für den Verbrennungsmotor VM und die beiden Elektromaschinen E1, E2 in Form einer Motorsteuerung 12 bzw. zweier Wechselrichter 14 und 16.

10

Die Kurbelwelle KW des Verbrennungsmotors VM ist über ein Zweimassenschwungrad 18 mit den beiden Zahnrädern 6 und 8 verbunden. Ein Freilauf 20 stützt die Drehmomente der Elektromaschinen

15 E1 und E2 beim elektrischen Fahren, d.h. bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor VM ab und verhindert eine Rückwärtsdrehung des Verbrennungsmotors VM. In der Nähe der Kurbelwelle KW ist ein Drehzahlsensor 22 angeordnet, der die Ist-Drehzahl  $n_{VM}$  ist der Kurbelwelle KW misst und als Eingangsgröße in das Motorsteuergerät 12 zuführt.

20

Die Antriebswellen A1 und A2 der beiden Elektromaschinen E1 und E2 sind jeweils mit einer Bremse B1 bzw. B2 zur mechanischen Abbremsung der Antriebswelle A1 bzw. A2 versehen. In der Nähe der Antriebswellen A1 und A2 ist jeweils ein Drehzahlsensor 24 bzw. 26 angeordnet, der die Ist-Drehzahl  $n_{E1}$  ist und  $n_{E2}$  ist der Antriebswellen A1 bzw. A2 misst und als Eingangsgröße zum entsprechenden Wechselrichter 14 bzw. 16 zuführt.

Ein weiterer, in der Nähe der Getriebeabtriebswelle AW angeordneter Drehzahlsensor 28 ermittelt deren Ist-Drehzahl  $n_{AW\text{ Ist}}$  und leitet sie an die nicht näher beschriebene Steuerung 10 weiter, die als weitere Eingangsgrößen neben der Ist-Drehzahl  $n_{AW\text{ Ist}}$  der Getriebeabtriebswelle AW oder alternativ der Drehzahl der Räder bei 30 die Stellung des Fahrpedals als Anzeige für die angeforderte Antriebsleistung und bei 32 die von einem Bordnetz des Kraftfahrzeugs angeforderte elektrische Leistung erhält.

- 5      Ein weiterer, in der Nähe der Getriebeabtriebswelle AW angeordneter Drehzahlsensor 28 ermittelt deren Ist-Drehzahl  $n_{AW\text{ Ist}}$  und leitet sie an die nicht näher beschriebene Steuerung 10 weiter, die als weitere Eingangsgrößen neben der Ist-Drehzahl  $n_{AW\text{ Ist}}$  der Getriebeabtriebswelle AW oder alternativ der Drehzahl der Räder bei 30 die Stellung des Fahrpedals als Anzeige für die angeforderte Antriebsleistung und bei 32 die von einem Bordnetz des Kraftfahrzeugs angeforderte elektrische Leistung erhält.
- 10     Aus diesen Eingangsgrößen berechnet die Steuerung 10 basierend auf den Koppelbedingungen des Getriebes 4 die Solldrehzahlen  $n_{VM}$  soll,  $n_{E1\text{ soll}}$ ,  $n_{E2\text{ soll}}$  und die Solldrehmomente  $M_{VM}$  soll,  $M_{E1\text{ soll}}$ ,  $M_{E2\text{ soll}}$  des Verbrennungsmotors VM sowie der Elektromaschinen E1 und E2. Die Solldrehmomente  $M_{VM}$  soll,  $M_{E1\text{ soll}}$ ,  $M_{E2\text{ soll}}$  können Anteile zur Kompensation der Trägheiten bei dynamischem Betrieb enthalten. Wie nachfolgend beschrieben, werden die Solldrehmomente  $M_{VM}$  soll,  $M_{E1\text{ soll}}$ ,  $M_{E2\text{ soll}}$  von drei unterlagerten dezentralen Drehzahlregelkreisen im Motorsteuergerät 12 und in den beiden Wechselrichtern 14, 16 als Vorsteuerung benutzt und liegen
- 15     20     im Sinne einer kaskadierten Stellgrößenbeschränkung innerhalb der Grenzen des maximalen Drehmoments des jeweiligen Aggregates VM, E1, E2, um für Drehzahlregler 34, 36, 38 der Drehzahlregelkreise Stellreserven bereitzustellen.
- 20     25     Für die Vorgabe der Soll-Drehmomente und der Soll-Drehzahlen von der Steuerung 10 an das Motorsteuergerät 12 und die beiden Wechselrichter 14, 16 wird ein im Kraftfahrzeug vorhandenes Bussystem 40 genutzt. Demgegenüber sind die Drehzahlregler 34, 36, 38 selbst

nicht über ein Bussystem geschlossen, so dass längere Signallaufzeiten vermieden und hohe Bandbreiten erzielt werden können.

Die Drehzahlregler 34, 36 bzw. 38 im Motorsteuergerät 12 und in den 5 beiden Wechselrichtern 14, 16 umfassen jeweils ein Vergleichsglied 42, das als Eingangsgröße vom zugehörigen Drehzahlsensor 22, 24 bzw. 26 die jeweilige Ist-Drehzahl  $n_{VM}$  ist,  $n_{E1}$  ist,  $n_{E2}$  ist der Kurbelwelle KW bzw. von einer der Antriebswellen A1, A2 und von der Steuerung 10 die jeweilige Solldrehzahl  $n_{VM}$  soll,  $n_{E1}$  soll bzw.  $n_{E2}$  soll erhält, das Soll- und Ist-Wertepaar vergleicht und eine eventuelle 10 Regelabweichung  $e_{E1}$ ,  $e_{E2}$  bzw.  $e_{VM}$  ermittelt.

Neben dem Vergleichsglied 42 umfassen die Drehzahlregler 34, 36, 38 ein Übertragungsglied 44, das die gegebenenfalls auftretenden 15 Regelabweichungen  $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$  bzw.  $e_{E2}$  vom Vergleichsglied 42 erhält, auf der Basis dieser Regelabweichungen ein zusätzliches Drehmoment  $M_{VM}$  zus.  $M_{E1}$  zus. bzw.  $M_{E2}$  zus. berechnet und als Ausgangssignal einem von der Steuerung 10 mit dem entsprechenden Soll-Drehmoment  $M_{E1}$  soll,  $M_{E2}$  soll bzw.  $M_{VM}$  soll beau f- 20 schlagten Stellglied 46 zuführt. Nach einer Addition der beiden Signale im Stellglied 46 wird von diesem das Summendrehmoment  $M_{E1}$ ,  $M_{E2}$ ,  $M_{VM}$  an der jeweiligen Elektromaschine E1, E2 bzw. am Verbrennungsmotor VM eingestellt. Während beim Auftreten einer Regelabweichung  $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$  bzw.  $e_{E2}$  an einem der Aggregate VM, 25 E1 bzw. E2 ein auf der Basis dieser Regelabweichung  $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$  bzw.  $e_{E2}$  berechnetes zusätzliches Drehmoment  $M_{VM}$  zus.  $M_{E1}$  zus. bzw.  $M_{E2}$  zus. in der Regel bei der Drehmomentsteuerung desjenigen Aggregats VM, E1 bzw. E2 berücksichtigt werden wird, an dem

zuvor die Regelabweichung  $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$  bzw.  $e_{E2}$  aufgetreten war, ist es jedoch auch möglich, in einer Art "Zustandsregelung" auf der Basis der Regelabweichung  $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$  bzw.  $e_{E2}$  eines Aggregats  $VM$ ,  $E1$  bzw.  $E2$  auch für die jeweils anderen Aggregate  $E1$ ,  $E2$  bzw.  $VM$

5 zusätzliche Drehmomente  $M_{E1}$  zus.  $M_{E2}$  zus bzw.  $M_{VM}$  zus zu berechnen, die dann neben den von der Steuerung 10 berechneten Soll-Drehmomenten  $M_{E1}$  soll,  $M_{E2}$  soll bzw.  $M_{VM}$  soll bei der Drehmomentsteuerung dieser Aggregate  $E1$ ,  $E2$  bzw.  $VM$  berücksichtigt werden.

10 Die Drehzahlregler 36, 38 der Elektromaschinen  $E1$  und  $E2$  sind als P-Regler oder PD-Regler ausgeführt, während der Drehzahlregler 34 des Verbrennungsmotors  $VM$  als I-, PI- oder PID-Regler ausgeführt ist. Durch diese letztere Maßnahme wird der Drehzahlregelkreis des

15 Verbrennungsmotors  $VM$  mit einem Integral-Anteil versehen, der Ungenauigkeiten in der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors  $VM$  ausgleicht, so dass sich im stationären Betrieb die Ist-Drehzahl  $n_{VM}$  ist des Verbrennungsmotors  $VM$  asymptotisch an die Solldrehzahl  $n_{VM}$  soll annähern wird. Damit gehen auch die Regelabweichungen  $e_{E1}$  und  $e_{E2}$  an den Elektromaschinen  $E1$  und  $E2$  gegen Null. Die Elektromaschinen  $E1$  und  $E2$  stellen dann näherungsweise die Soll-Drehmomente ein ( $M_{E1} = M_{E1}$  soll,  $M_{E2} = M_{E2}$  soll). Mit den von der Steuerung 10 vorgegebenen Soll-Drehmomenten  $M_{E1}$  soll und  $M_{E2}$  soll wird dann selbst im Fall von

20 Ungenauigkeiten in den Reibverhältnissen des Getriebes 4 auch die Vorgabe für die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung eingehalten.

25

Da alle drei Aggregate VM, E1 und E2 drehzahlgeregelt betrieben werden, können zwei davon in die Stellgrößenbegrenzung geraten, ohne dass die Kontrolle über das System verloren geht. Sollten zum Beispiel beide Elektromaschinen E1 und E2 infolge einer Über- oder

5    **Unterspannungsabregelung in die Stellgrößenbegrenzung geraten, so hält der Verbrennungsmotor VM weiterhin die Drehzahlbindung aufrecht.**

Die P-Anteile der Drehzahlregler 34, 36, 38 entsprechen in ihrer Wirkung drehzahlproportionalen mechanischen Dämpfern und wirken damit Drehschwingungen der Aggregate VM, E1 und E2 entgegen, die zum Beispiel infolge von Torsionsschwingungen des Zweimassenschwunggrades 18 entstehen können. Mit den drei unterlagerten Drehzahlregelkreisen tragen alle drei Aggregate VM, E1 und E2 zur

10    **aktiven Drehschwingungsdämpfung bei. Während in das Drehmoment  $M_{VM}$  des Verbrennungsmotors VM nur zu den diskreten Zündzeitpunkten eingegriffen werden kann, was die Drehschwingungsdämpfung mittels des Verbrennungsmotors VM auf niedrige Frequenzen beschränkt, lassen sich bei Elektromaschinen in Form von**

15    **Drehstrommaschinen mit feldorientierter Regelung Drehmomentregelzeiten < 1 ms erzielen, so dass in Verbindung mit geeigneten DrehzahlSENSOREN die Dämpfung höherer Frequenzen möglich ist.**

**Patentansprüche**

5

1. Elektromechanisch leistungsverzweigender Hybridantrieb für ein Kraftfahrzeug, mit einem Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein Getriebe gekoppelt sind, gekennzeichnet durch eine Steuerung (10), die basierend auf Koppelbedingungen des Getriebes (P1, P2, 4) für den Verbrennungsmotor (VM) und beide Elektromaschinen (E1, E2) jeweils Soll-Drehzahlen ( $n_{VM\ soll}$ ,  $n_{E1\ soll}$ ,  $n_{E2\ soll}$ ) und Soll-Drehmomente ( $M_{VM\ soll}$ ,  $M_{E1\ soll}$ ,  $M_{E2\ soll}$ ) berechnet, sowie durch einen Drehzahlregler (34, 36, 38) für den Verbrennungsmotor (VM) und die beiden Elektromaschinen (E1, E2), welche die berechneten Soll-Drehzahlen ( $n_{VM\ soll}$ ,  $n_{E1\ soll}$ ,  $n_{E2\ soll}$ ) mit den zugehörigen Ist-Drehzahlen ( $n_{VM\ ist}$ ,  $n_{E1\ ist}$ ,  $n_{E2\ ist}$ ) vergleichen und bei einer Regelabweichung ( $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$ ,  $e_{E2}$ ) zwischen einer der Ist-Drehzahlen ( $n_{VM\ ist}$ ,  $n_{E1\ ist}$ ,  $n_{E2\ ist}$ ) und der zugehörigen Soll-Drehzahl ( $n_{VM\ soll}$ ,  $n_{E1\ soll}$ ,  $n_{E2\ soll}$ ) auf der Grundlage der Regelabweichung ( $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$ ,  $e_{E2}$ ) ein oder mehr zusätzliche Drehmomente ( $M_{VM\ zus}$ ,  $M_{E1\ zus}$ ,  $M_{E2\ zus}$ ) berechnen, die neben dem oder den von der Steuerung (10) berechneten Soll-Drehmomenten ( $M_{VM\ soll}$ ,  $M_{E1\ soll}$ ,  $M_{E2\ soll}$ ) bei der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors (VM) und der beiden Elektromaschinen (E1, E2) berücksichtigt werden.

2. Hybridantrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehzahlregler (34) des Verbrennungsmotors (VM) ein I-, PI- oder PID-Regler ist, und dass die Drehzahlregler (36, 38) der Elektromaschinen (E1, E2) P- oder PD-Regler sind.

5

3. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahlregler (34, 36, 38) jeweils Teil eines dezentralen Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors (VM) bzw. der Elektromaschinen (E1, E2) sind.

10

4. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahlregler (34, 36, 38) untereinander nicht kommunizieren.

15

5. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahlregler (34, 36, 38) über ein Bussystem (40) mit der Steuerung (10) kommunizieren.

20

6. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (10) Reglerparameter der Drehzahlregelkreise und/oder eine Initialisierung eines Integralanteils des Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors (VM) vorgibt.

25

7. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Bandpassfilter, der vor oder hinter mindestens einem der Drehzahlregler (34, 36, 38) angeordnet ist.

30

8. Verfahren zur Regelung eines elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantriebs eines Kraftfahrzeugs mit einem

Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein Getriebe gekoppelt sind, dadurch gekennzeichnet, dass basierend auf Koppelbedingungen des Getriebes (P1, P2, 4) für den Verbrennungsmotor (VM) und die beiden Elektromaschinen (E1, E2) jeweils

5 Soll-Drehzahlen ( $n_{VM\ soll}$ ,  $n_{E1\ soll}$ ,  $n_{E2\ soll}$ ) und Soll-Drehmomente ( $M_{VM\ soll}$ ,  $M_{E1\ soll}$ ,  $M_{E2\ soll}$ ) berechnet werden, dass die jeweiligen Soll-Drehzahlen ( $n_{VM\ soll}$ ,  $n_{E1\ soll}$ ,  $n_{E2\ soll}$ ) mit entsprechenden Ist-Drehzahlen ( $n_{VM\ ist}$ ,  $n_{E1\ ist}$ ,  $n_{E2\ ist}$ ) des Verbrennungsmotors (VM) und der Elektromaschinen (E1, E2) verglichen werden, und

10 dass bei einer Regelabweichung ( $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$ ,  $e_{E2}$ ) zwischen einer der Ist-Drehzahlen ( $n_{VM\ ist}$ ,  $n_{E1\ ist}$ ,  $n_{E2\ ist}$ ) und der entsprechenden Soll-Drehzahl ( $n_{VM\ soll}$ ,  $n_{E1\ soll}$ ,  $n_{E2\ soll}$ ) auf der Grundlage der Regelabweichung ( $e_{VM}$ ,  $e_{E1}$ ,  $e_{E2}$ ) ein oder mehr zusätzliche Drehmomente ( $M_{VM\ zus}$ ,  $M_{E1\ zus}$ ,  $M_{E2\ zus}$ ) berechnet werden, die

15 neben dem oder den von der Steuerung (10) berechneten Soll-Drehmomenten ( $M_{VM\ soll}$ ,  $M_{E1\ soll}$ ,  $M_{E2\ soll}$ ) bei der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors (VM) und der beiden Elektromaschinen (E1, E2) berücksichtigt werden.

20 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Drehzahlen ( $n_{VM\ soll}$ ,  $n_{E1\ soll}$ ,  $n_{E2\ soll}$ ) auf der Grundlage einer Fahrpedalstellung, einer für ein Bordnetz des Kraftfahrzeugs erforderlichen elektrischen Leistung und Ist-Drehzahlen von Rädern des Kraftfahrzeugs oder einer Ist-Drehzahl ( $n_{AW\ ist}$ ) einer Abtriebs-

25 welle (AW) des Getriebes (P1, P2, 4) berechnet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Drehmomente ( $M_{VM\ soll}$ ,  $M_{E1\ soll}$ ,  $M_{E2\ soll}$ ) An-

teile zur Kompensation von Trägheiten bei dynamischem Betrieb enthalten.

5

10

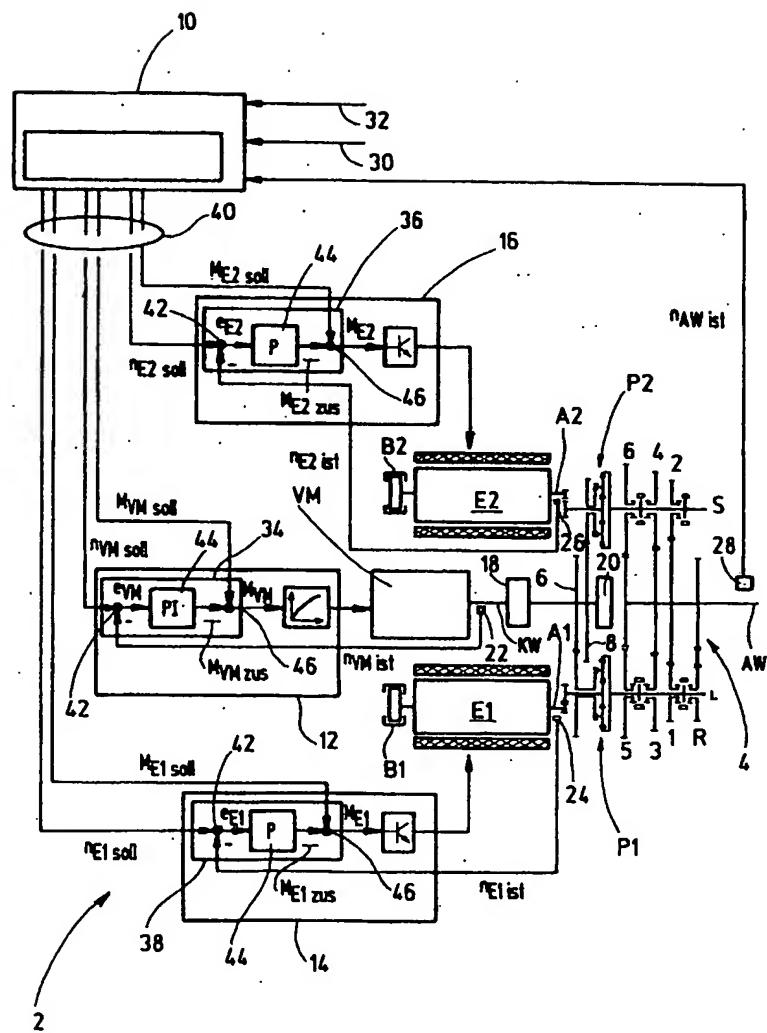
15

20

25

30

1 / 1



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/050903

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 B60K6/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 B60K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/113440 A1 (ABE TETSUYA ET AL) 22 August 2002 (2002-08-22) paragraph '0071! - paragraph '0076! -----	1-9
Y	US 2003/060948 A1 (GOTOU KENJI ET AL) 27 March 2003 (2003-03-27) paragraph '0101! -----	10
X	EP 1 270 301 A (HITACHI LTD) 2 January 2003 (2003-01-02) paragraph '0026! -----	1,8,9
A	DE 100 62 556 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4 July 2002 (2002-07-04) claims 2,3 ----- -/-	1-10

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- 'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- 'E' earlier document but published on or after the international filing date
- 'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- 'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- 'P' document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 August 2004

Date of mailing of the international search report

03/09/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Nielles, D

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/EP2004/050903

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 199 03 936 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4 May 2000 (2000-05-04) cited in the application column 4, line 5 – line 54; claim 1 -----	1-10
A	US 2002/024306 A1 (IMAI NOBUYUKI ET AL) 28 February 2002 (2002-02-28) paragraphs '0014!, '0015! -----	1-10

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/050903

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 2002113440	A1	22-08-2002	JP	2000087774 A		28-03-2000
US 2003060948	A1	27-03-2003	JP	2001339805 A		07-12-2001
			EP	1160117 A2		05-12-2001
			US	2001049570 A1		06-12-2001
EP 1270301	A	02-01-2003	EP	1270301 A2		02-01-2003
			JP	2003079005 A		14-03-2003
			US	2002189397 A1		19-12-2002
DE 10062556	A	04-07-2002	DE	10062556 A1		04-07-2002
			WO	0247931 A1		20-06-2002
			EP	1409282 A1		21-04-2004
			JP	2004514863 T		20-05-2004
			US	2003178953 A1		25-09-2003
DE 19903936	A	04-05-2000	DE	19903936 A1		04-05-2000
			WO	0026053 A1		11-05-2000
			EP	1126987 A1		29-08-2001
			US	6558283 B1		06-05-2003
US 2002024306	A1	28-02-2002	JP	2002052944 A		19-02-2002

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/050903

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B60K6/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
IPK 7 B60K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2002/113440 A1 (ABE TETSUYA ET AL) 22. August 2002 (2002-08-22)	1-9
Y	Absatz '0071! - Absatz '0076! -----	10
Y	US 2003/060948 A1 (GOTOU KENJI ET AL) 27. März 2003 (2003-03-27) Absatz '0101!	10
X	EP 1 270 301 A (HITACHI LTD) 2. Januar 2003 (2003-01-02) Absatz '0026!	1,8,9
A	DE 100 62 556 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4. Juli 2002 (2002-07-04) Ansprüche 2,3 ----- -/-	1-10

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Aussellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19. August 2004

03/09/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Nielles, D

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/050903

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 199 03 936 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4. Mai 2000 (2000-05-04) in der Anmeldung erwähnt Spalte 4, Zeile 5 - Zeile 54; Anspruch 1 -----	1-10
A	US 2002/024306 A1 (IMAI NOBUYUKI ET AL) 28. Februar 2002 (2002-02-28) Absätze '0014!, '0015! -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/050903

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2002113440	A1	22-08-2002	JP	2000087774 A		28-03-2000
US 2003060948	A1	27-03-2003	JP	2001339805 A		07-12-2001
			EP	1160117 A2		05-12-2001
			US	2001049570 A1		06-12-2001
EP 1270301	A	02-01-2003	EP	1270301 A2		02-01-2003
			JP	2003079005 A		14-03-2003
			US	2002189397 A1		19-12-2002
DE 10062556	A	04-07-2002	DE	10062556 A1		04-07-2002
			WO	0247931 A1		20-06-2002
			EP	1409282 A1		21-04-2004
			JP	2004514863 T		20-05-2004
			US	2003178953 A1		25-09-2003
DE 19903936	A	04-05-2000	DE	19903936 A1		04-05-2000
			WO	0026053 A1		11-05-2000
			EP	1126987 A1		29-08-2001
			US	6558283 B1		06-05-2003
US 2002024306	A1	28-02-2002	JP	2002052944 A		19-02-2002